

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«ВолгоградНИПИморнефть»**

Заказчик — ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск»

**ПЛАН ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ  
РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ  
(КИРИНСКОЕ ГАЗОКОНДЕНСАТНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ  
(МОРСКОЙ УЧАСТОК))**

**ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ ПО РАСЧЕТУ ВЕРОЯТНОСТИ  
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОДВОДНОГО  
ТРУБОПРОВОДА ГАЗОСБОРНОГО КОЛЛЕКТОРА (ПРИБРЕЖНАЯ  
ЗОНА) КИРИНСКОГО ГКМ (ВЕСНА)**

**4993-ПЛРН5.5**

**ТОМ 5.5**

Первый заместитель генерального дирек-  
тора – Директор по развитию бизнеса –  
главный инженер

\_\_\_\_\_ А.В. Скурлатов

«25» августа 2023 г.

Главный инженер проекта

\_\_\_\_\_ В.Е. Золотарев

«25» августа 2023 г.

## Содержание

1. Оценка вероятности загрязнения поверхности морского и берегового участка и графическое отображение распределения вероятности на ситуационном плане.....	3
2. Расчет вероятности возникновения загрязнения конденсатом поверхности морского участка и береговой черты от подводного трубопровода.....	5
Литература.....	14

## 1. Оценка вероятности загрязнения поверхности морского и берегового участка и графическое отображение распределения вероятности на ситуационном плане

Согласно теореме умножения вероятностей формула для оценки вероятности возникновения загрязнения поверхности морского участка конденсатом при реализации сценария примет вид [1-5]:

$$P_{\text{Загр. (сц.)}} = P_{\text{выб}} * P_{\text{сцен.}}, \quad (2.1)$$

где  $P_{\text{выб}}$  – вероятность возникновения выброса конденсата;

$P_{\text{сцен.}}$  – вероятность реализации сценария загрязнения поверхности морского участка.

Вероятность возникновения выброса нефти при аварии на морском трубопроводе рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{выб}} = \nu,$$

где  $\nu$  - частота возникновения аварии на морском трубопроводе,  $\text{год}^{-1} \cdot \text{км}^{-1}$ .

Наиболее вероятны аварии при перекачке конденсата на платформах и вблизи от них. Аварийность трубопроводов обычно уменьшается с увеличением их диаметра, однако во всех случаях вероятность повреждений и утечек нарастает по мере старения уложенных на дне труб.

Вероятность аварий и утечек на трубопроводах представлена в таблице 2.1 [6].

Таблица 2.1

Морской нефтепровод			
Иницирующее событие	Диаметр отверстия, мм	Тип иницирующего события	Частота возникновения событий, $\text{год}^{-1} \cdot \text{км}^{-1}$
Отверстие	12,5	Продолжительное истечение жидкости	$9,39 \cdot 10^{-5}$
	25		$3,43 \cdot 10^{-5}$
	50		$1,49 \cdot 10^{-5}$
	100		$5,96 \cdot 10^{-6}$
Разрушение	Полное проходное сечение	Мгновенный выброс жидкости	$3,50 \cdot 10^{-5}$

Исходя из данных таблицы 2.1 частота возникновения аварии на морском трубопроводе при порыве:  $\nu = 3,50 \cdot 10^{-5}$ .

Для расчета вероятности реализации сценария при разливе конденсата  $P_{\text{сцен.}}$  было проведено имитационное моделирование.

Вероятность реализации сценария при разливе конденсата определялась в соответствии с теоремой умножения вероятностей совместного появления нескольких событий по формуле:

$$P_{\text{сцен.}} = \omega_{\text{ск}} * \omega_{\text{нап}} * k, \quad (2.2)$$

где  $\omega_{\text{ск}}$  – максимальная годовая повторяемость скорости ветра принимаемая по таблице 2.3. Так как значительное загрязнение поверхности моря и береговой черты происходит только при скоростях ветра 5 м/с и 10м/с, то повторяемость скорости ветра рассматриваем для сценариев с данными скоростями ветра.

$\omega_{\text{нап}}$  – максимальная годовая повторяемость направления ветра, принимаемая по таблице 2.3.

$k$  – коэффициент времени года,  $k=0,25$ .

В качестве исходных данных использованы частоты скорости и направления ветра, в процентах в среднем за год по материалам наблюдений на береговых метеостанциях и судах, представленные в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Частота скорости и направления ветра, в процентах в среднем за год

Скорость, м/сек	Направление								Частота, %
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
0,0-2,0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
2,0-4,0	0	2	3	5	4	3	5	4	26
4,0-6,0	3	2	2	4	4	3	5	5	27
6,0-8,0	2	1	1	2	3	1	4	5	18
8,0-10,0	1	<1	1	1	1	<1	2	4	10
10,0-12,0	1	<1	<1	<1	<1	<1	1	2	5
12,0-14,0	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2
14,0-16,0	<1	<1	<1	<1	<0.01		<1	<1	1
16,0-18,0	<1	<1	<1	<1			<1	<1	<1
18,0-20,0	<1	<1	<1	<1			<1		<1
20,0-22,0	<1			<0.01					<1
22,0-24,0	<0.01								<0.01
Частота, %	9	7	7	12	14	9	18	21	

Обработка статистических данных по скоростям ветра позволила определить максимальную повторяемость моделируемых скоростей ветра 0,0-5 м/с и 5-10 м/с. Результаты представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Скорость, ветра, м/сек	Повторяемость скоростей ветра по 8 направлениям, %							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
5 (0,0-5)	2,5	4	5	8	7	5,5	8,5	7,5
10 (5-10)	4,5	3	3	5	6	3,5	8,5	11,5

## 2. Расчет вероятности возникновения загрязнения конденсатом поверхности морского участка и береговой черты от подводного трубопровода

Результаты расчета вероятности возникновения загрязнения конденсатом поверхности морского участка и береговой черты от подводного трубопровода представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Оценка вероятности возникновения загрязнения конденсатом поверхности морского участка и береговой черты после выброса на подводном трубопроводе.

Вероятность возникновения выброса, $P_{\text{выб.}}$ , $\text{год}^{-1} \cdot \text{км}^{-1}$	Вероятность совместной повторяемости скорости и направления ветра, $\omega_{\text{нап}} * \omega_{\text{ск}}$	Коэффициент времени года, $k$	Оценка вероятности загрязнения морского участка, и береговой черты, $P_{\text{загр.}}$ (сц.), $1/(\text{год} \cdot \text{км трубопровода})$
1	2	3	4
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$ (Северный, 5м/с)	0,25	$2,19 \cdot 10^{-7}$
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-2}$ (Северо-восточный, 5м/с)	0,25	$3,5 \cdot 10^{-7}$
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-2}$ (Восточный, 5м/с)	0,25	$4,38 \cdot 10^{-7}$
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-2}$ (Юго-Восточный, 5м/с)	0,25	$7 \cdot 10^{-7}$
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-2}$ (Южный, 5м/с)	0,25	$6,13 \cdot 10^{-7}$
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$ (Юго-западный, 5м/с)	0,25	$4,81 \cdot 10^{-7}$
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$ (Западный, 5м/с)	0,25	$7,44 \cdot 10^{-7}$
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$ (Северо-западный, 5м/с)	0,25	$6,56 \cdot 10^{-7}$
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$ (Северный, 10м/с)	0,25	$3,94 \cdot 10^{-7}$
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-2}$ (Северо-восточный, 10м/с)	0,25	$2,63 \cdot 10^{-7}$
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-2}$ (Восточный, 10м/с)	0,25	$2,63 \cdot 10^{-7}$
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-2}$ (Юго-Восточный, 10м/с)	0,25	$4,38 \cdot 10^{-7}$
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-2}$ (Южный, 10м/с)	0,25	$5,25 \cdot 10^{-7}$
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$ (Юго-западный, 10м/с)	0,25	$3,06 \cdot 10^{-7}$
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$ (Западный, 10м/с)	0,25	$7,44 \cdot 10^{-7}$
$3,50 \cdot 10^{-5}$	$11,5 \cdot 10^{-2}$ (Северо-западный, 10м/с)	0,25	$10,06 \cdot 10^{-7}$

Для построения графического отображения распределения вероятности загрязнения конденсатом на ситуационном плане поверхность моря была разбита на участки в зависимости от загрязнения конденсатом данных участков.

При этом для каждого участка оценивалась вероятность загрязнения за выбранное время по формуле:

$$P_i^{уч} = \sum_{j=1}^n P_j^{конф} \quad (2.3)$$

$P_i^{уч}$  - вероятность загрязнения  $i$  – го участка морской поверхности;

$P_j^{конф}$  - вероятность реализации  $j$  -ой конфигурации пятна попавшей на  $i$  – ый участок морской поверхности (принимались равными  $P_{загр. (сц.)}$ , рассчитанными для каждого сценария по формуле (2.1) и приведенным в табл. 2.4;

$n$  – количество конфигураций пятен, попавших на  $i$  – ый участок морской поверхности за время  $t$ .

На рис. 2.1-2.7 приведены карты ЧС(Н), на которых отображено распределение вероятности загрязнения морской поверхности.

Условные обозначения

Цвет	Оценка вероятности загрязнения участка береговой полосы, $P^{уч} \cdot 10^{-7} 1/(\text{год} \cdot \text{км трубопровода})$
	$\leq 4$
	4-8
	8-12
	12-16
	$\geq 16$

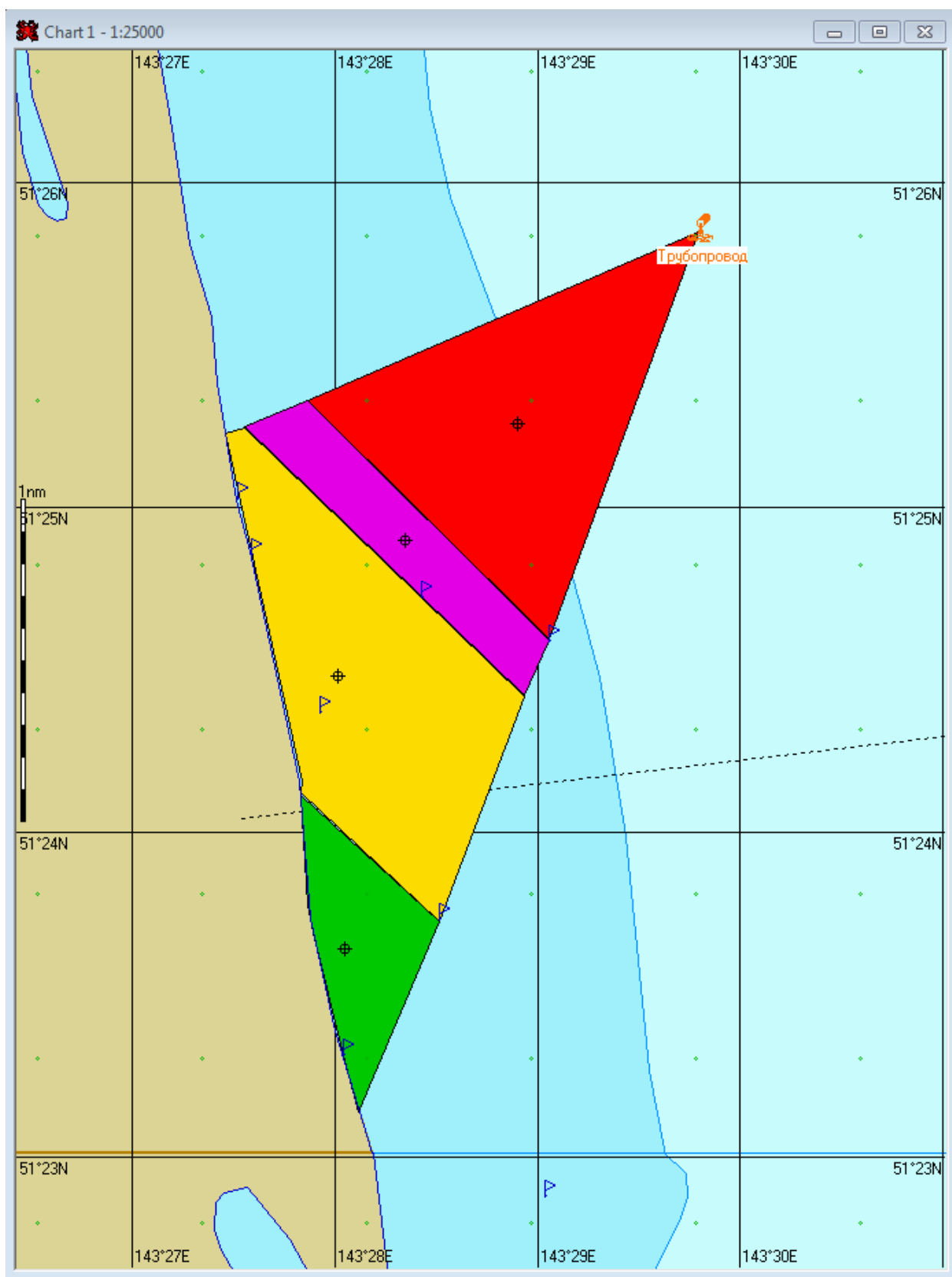


Рис. 2.1. Карта ЧС(Н). Распределение вероятности загрязнения поверхности морского участка через 4 часа после выброса на скважине.

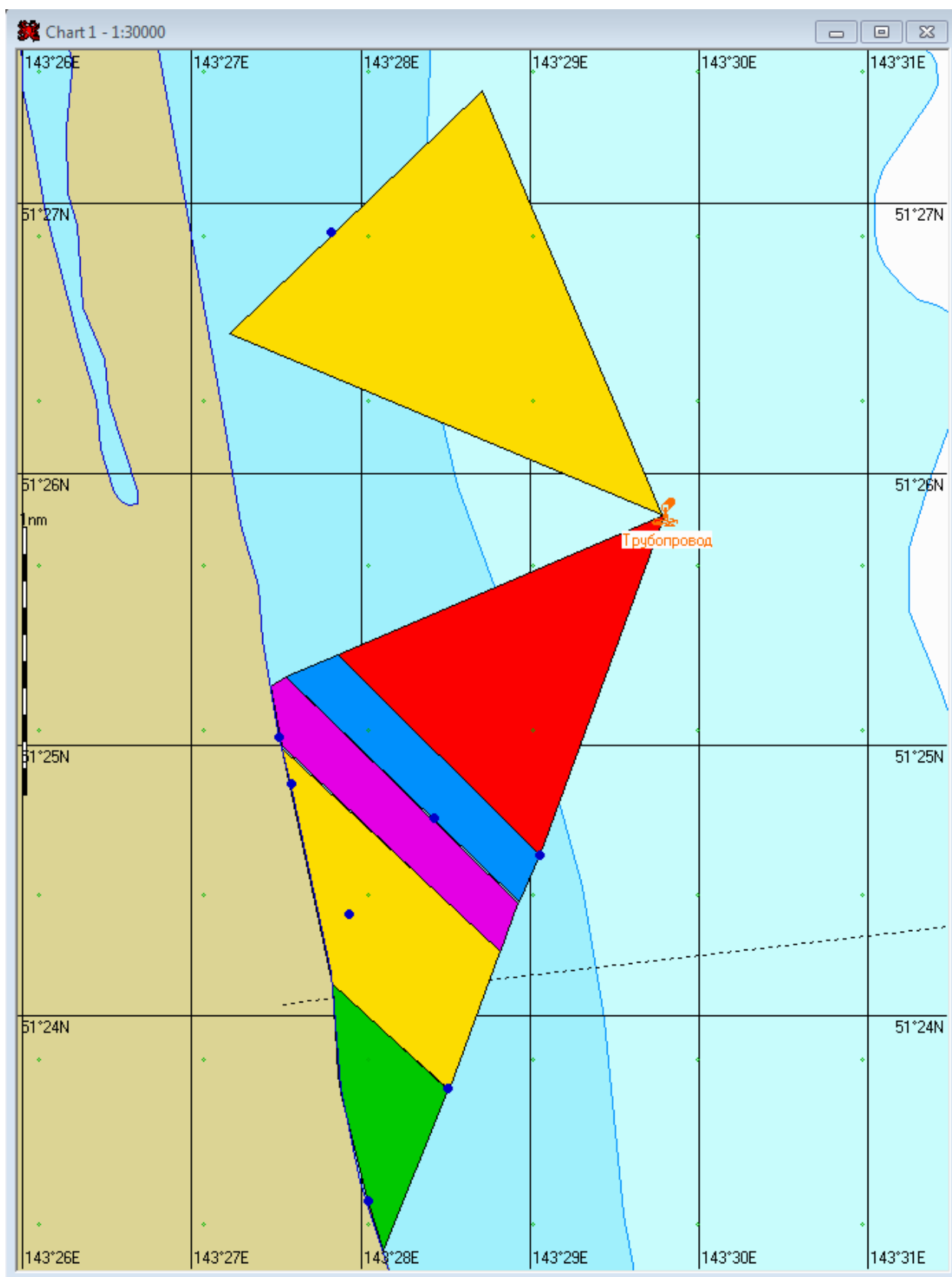


Рис. 2.2. Карта ЧС(Н). Распределение вероятности загрязнения поверхности морского участка через 6 часов после выброса на скважине.



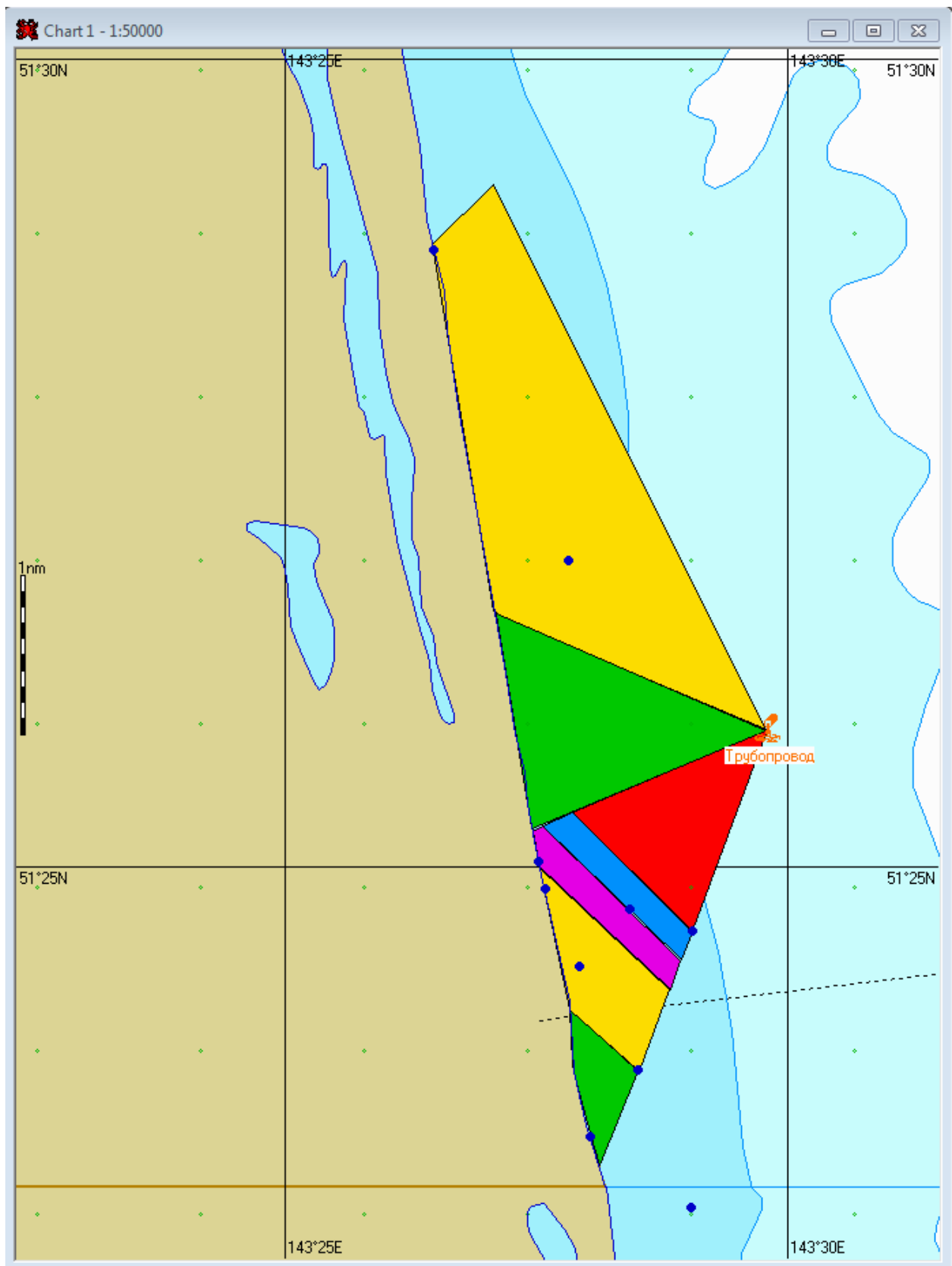


Рис. 2.3. Карта ЧС(Н). Распределение вероятности загрязнения поверхности морского участка через 12 часов после выброса на скважине.

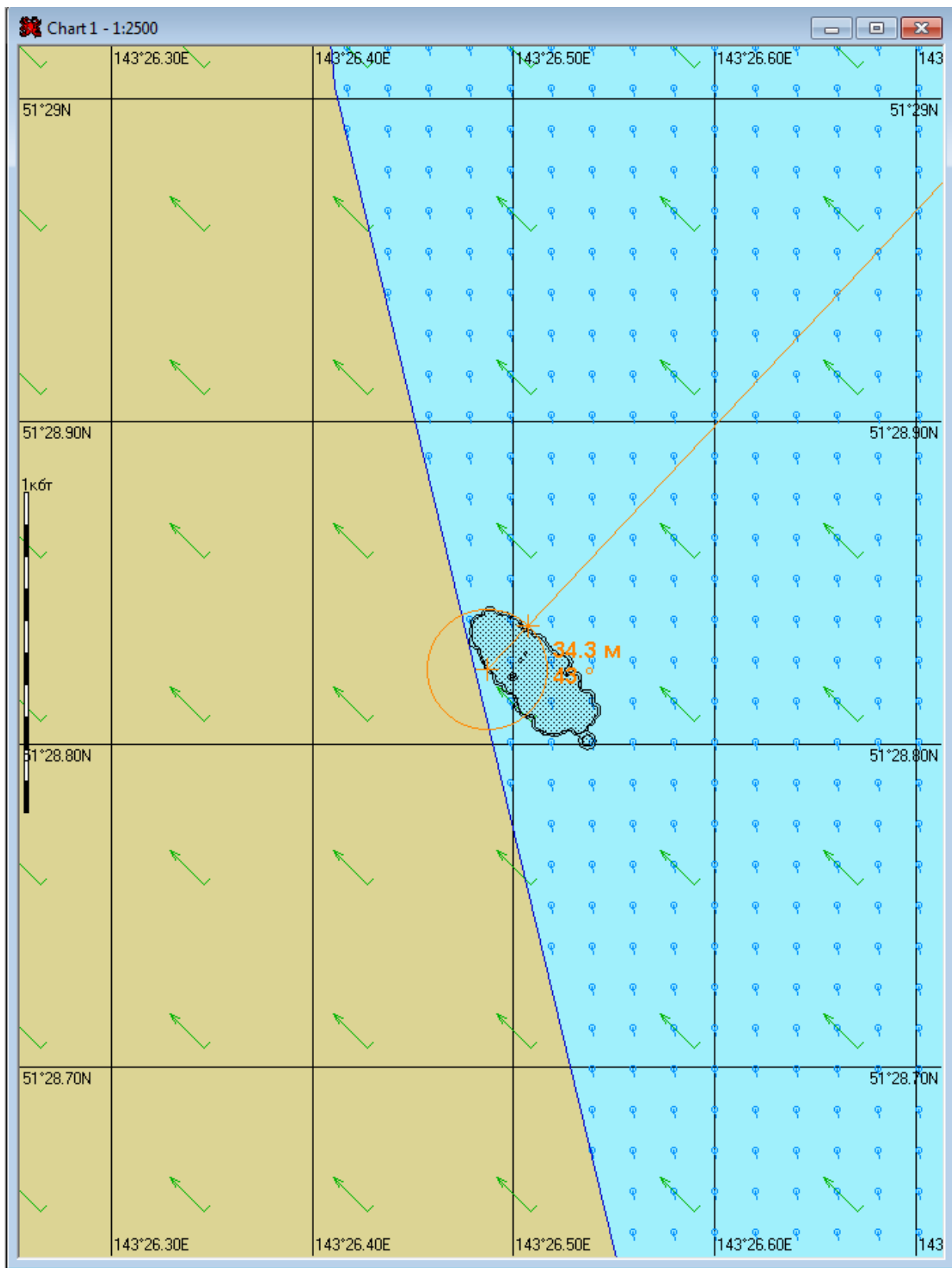


Рис. 2.4. Карта ЧС(Н) на момент достижения нефтяным пятном берега (8ч 55мин) при юго-восточном ветре и скорости ветра 5 м/с.

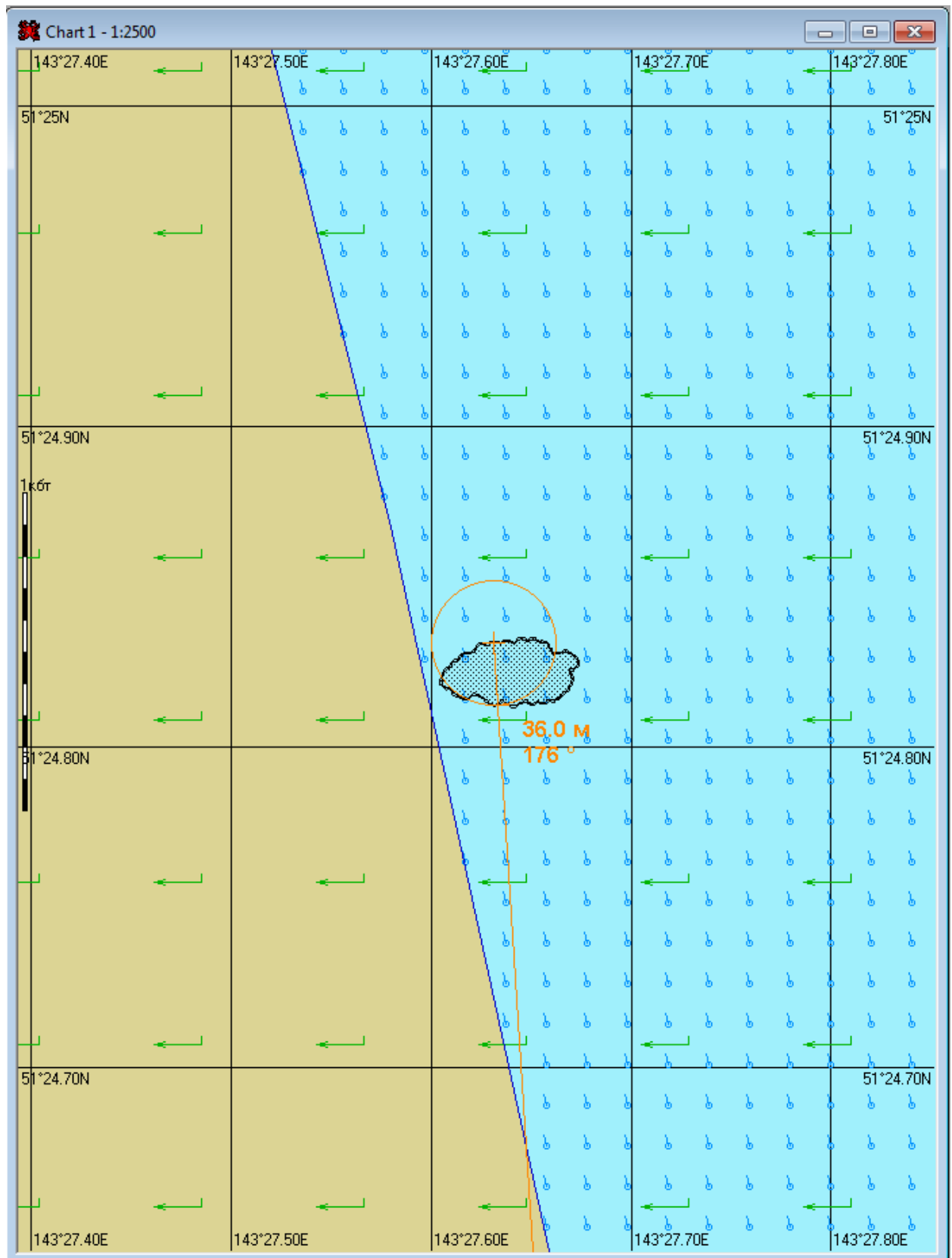


Рис. 2.5. Карта ЧС(Н) на момент достижения нефтяным пятном берега (5ч 15мин) при восточном ветре и скорости ветра 5 м/с.

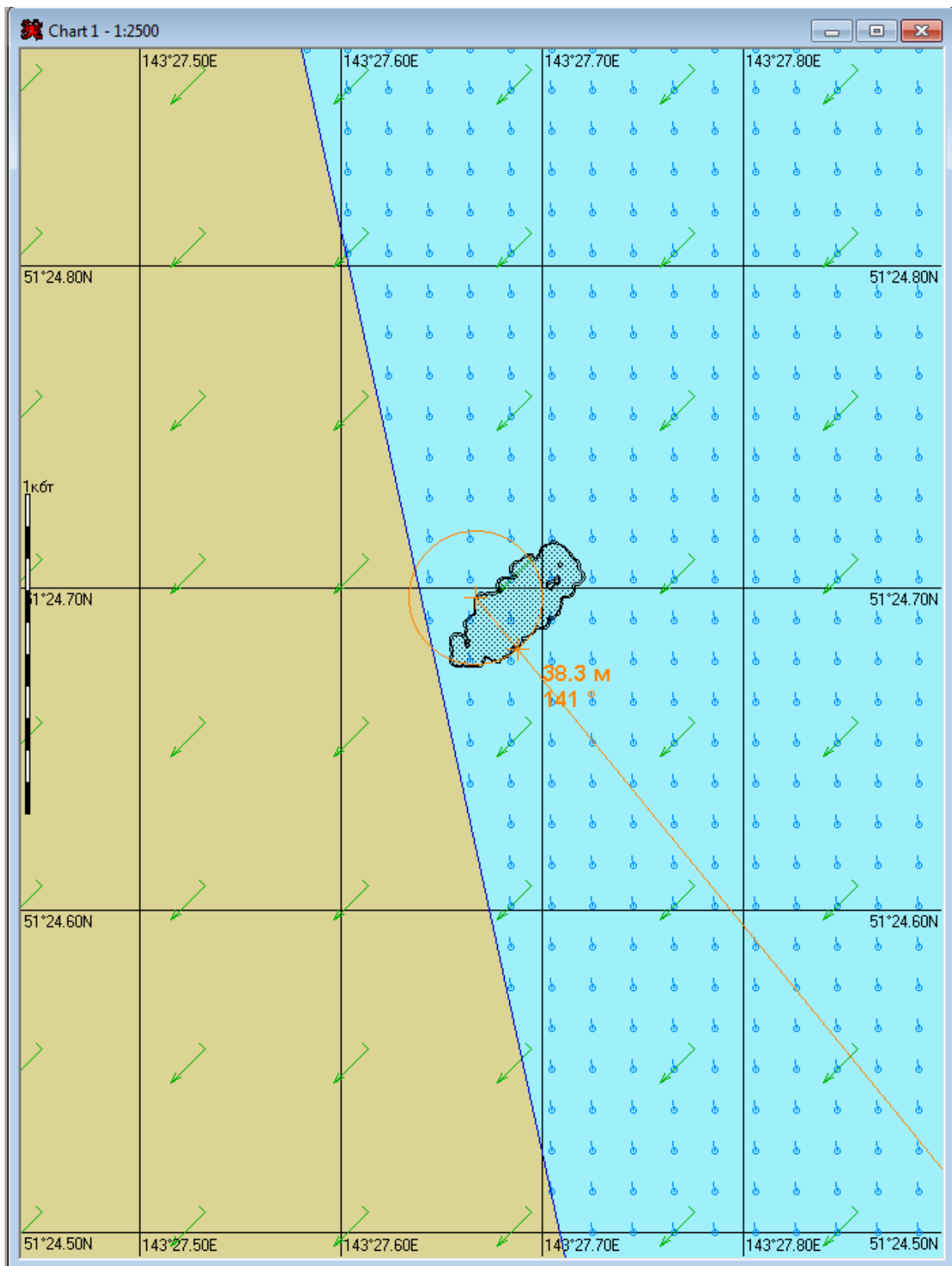


Рис. 2.6. Карта ЧС(Н) на момент достижения нефтяным пятном берега (бч 25мин) при северо-восточном ветре и скорости ветра 5 м/с.

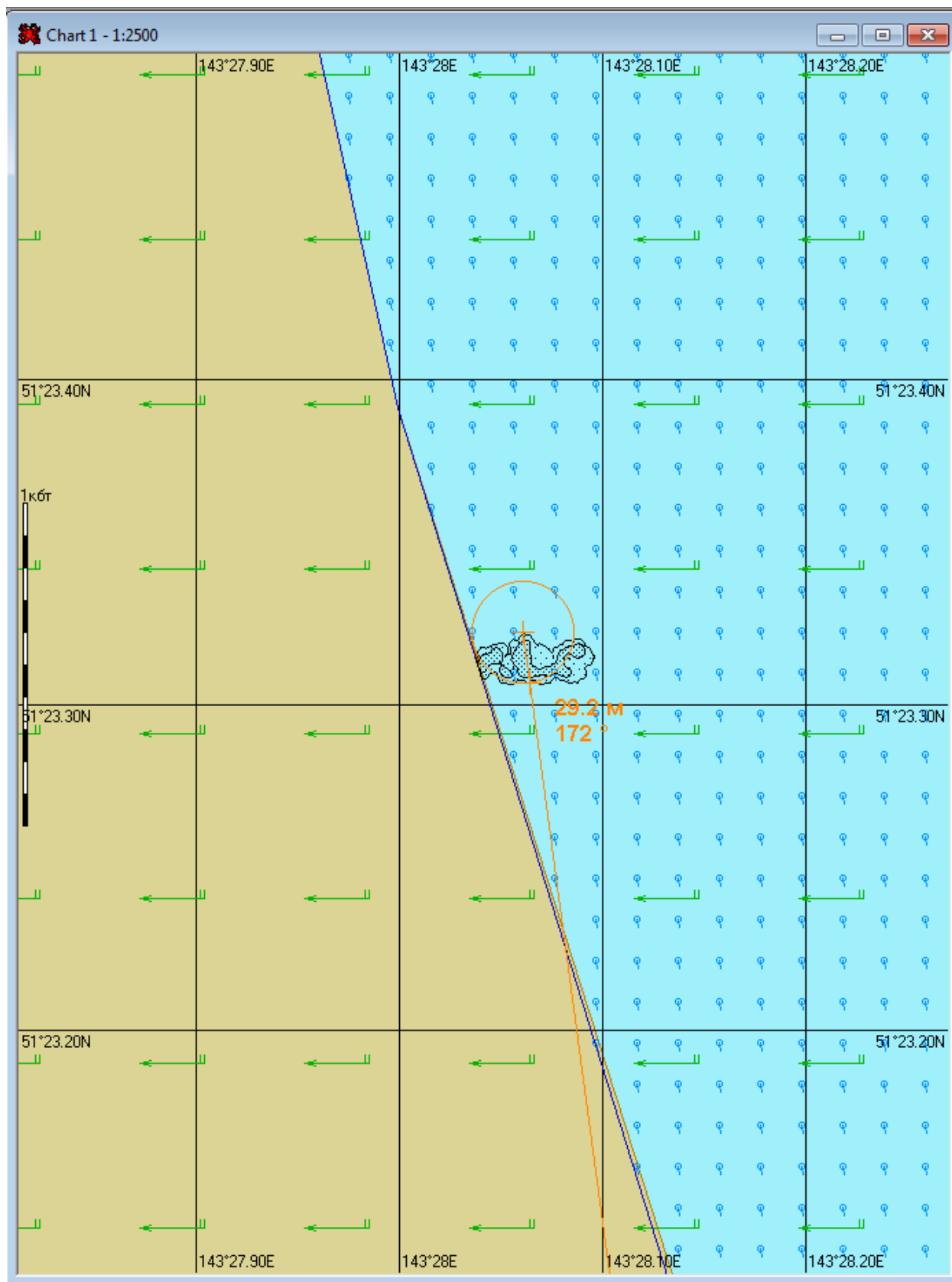


Рис. 2.7. Карта ЧС(Н) на момент достижения нефтяным пятном берега (2ч 35мин) при восточном ветре и скорости ветра 10 м/с.

### Литература

- 1 Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М. «Высшая школа», 1977. 479 с.
- 2 Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. М. Наука, 1979. 476 с.
- 3 Колмогоров, А.Н. Основные понятия теории вероятностей / М., 1974. – 120с.
- 4 Феллер, В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения / М.: Издательство «Мир» 1964. – 770с.
- 5 Елисеева, И.И. Общая теория статистики / И.И. Елисеева, М.М. Юзбашев // Москва: Финансы и статистика 2006. – 656с
- 6 Мерициди, И.А. Техника и технологии локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: Справ./ И.А. Мерициди, В.Н. Ивановский, А.Н. Прохоров и др.; Под ред. И.А. Мерициди. – СПб.: НПО «Профессионал», 2008. – 824 с.